بسم الله الرحمن الرحيم

دانـــشگاه یـــزد
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر
گروه مهندسی کامپیوتر

پایان نامه
برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
مهندسی فناوری اطلاعات- شبکه‌های کامپیوتری

بهبود مسیریابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم در زیرآب با استفاده از روش-های هوشمند

استاد راهنما:
دکتـر ولـی درهمـی

استاد مشاور:
دکتـر سیـــاوش خرسنـــدی

پژوهش و نگارش:
لیـــدا فـــرج‌پور

اسفند ۱۳۹۰

این پایان نامه بر اساس قرارداد شماره ۵۰۰/۶۴۸۳/ت با حمایت مرکز تحقیقات مخابرات ایران انجام شده است.

تقدیم با بوسه بر دستان پدرم:

به او که نمی دانم از بزرگی اش بگویم یا مردانگیش، سخاوت ویا مهربانیش

تقدیم با دنیا دنیا عشق به مادر عزیزتر از جانم:

دریای بی کران فداکاری و عشق که وجودم برایش همه رنج بود و وجودش برایم همه مهر

تقدیم به خواهرمهربانم:

برای همه رهنمون‌ها و دلسوزی‌های خالصانه‌اش

تقدیم به یگانه برادرم:

حامی زندگیم که وجودش پایان همه تنهایی‌هایم و آغاز همه شادی‌های طول حیاتم بوده و هست.

و در نهایت تقدیم به روح پاک دکترعلی شریعتی:

که روحش در کلامش همچنان زنده مانده و تفکرش روشنگر راه تشنگان زندگی است.

تقدیر و تشکر:

نخست سپاس دادار مهربان برای

آن‌چه خواستم و داد

آن‌چه خواستم ونداد

آن‌چه نخواستم و نداد

و آن‌چه نخواستم و داد

و تشکر از هر آن کس که خوشه‌چین معرفتش بودم از جمله معلمان و استادان عزیزم به ویژه جناب آقای دکتر ولی درهمی عزیز که راهنمایی‌های ایشان در کنار لطف، حمایت و مهربانی بیکرانشان در حق اینجانب غیر قابل توصیف و جبران است، استاد گرامیم جناب آقای دکتر محمدرضا کیوان‌پور به خاطر آن‌که حرف‌هایشان روشنگر آینده من بود، استاد عزیزم علی برادران هاشمی به خاطر همه مهربانی‌های ایشان که درس انسانیت در کلام و رفتارشان یافتم، استاد گرانقدرم مهندس مهدی جورابدوزان به خاطر همه‌ی کمک‌های بی دریغشان و استاد دهقانی، که علاوه بر آن‌که الفبای خداگونه زندگی کردن را به من آموختن، با تمام وجود مرا در راه به اتمام رساندن این پایان‌نامه قوت قلب بخشیدند.

در نهایت سپاس از همه کسانی که وام‌دار مهر و محبتشان هستم، آن‌هایی که محبتشان در عیان و خفا شامل حال من بود و در پیچ و خم زندگی به ویژه در راه کسب علم و شناخت دست یاریشان به مدد من آمد و او که از شادی من لبخند زده و هر آن‌که غمم، اندوه به جانش افکنده.

چکیده

شبکه‌ی حسگر بی‌سیم جهت پایش محدوده‌ای از پیش تعیین شده درون آب مستقر می‌شوند. بهره‌مندی از کانال آکوستیک مهم‌ترین علت تفاوت این نوع شبکه‌ها با نمونه‌ی زمینی آن می‌باشد. از این‌رو این شبکه‌ها با تاخیر انتشار بالا و پهنای باند پائین دست وپنجه نرم می‌کنند. از طرفی به علت ویژگی‌های خاص محیط زیر آب گره‌های حسگر مختص این محیط با نوع زمینی آن در مواردی همچون هزینه، انرژی، حافظه و غیره متفاوت هستند. تمامی این تفاوت‌ها منجر به آن می‌شود که در صورت بهره‌مندی از پروتکل‌های مسیریابی موجود برای شبکه‌های روی زمین در این محیط، سربار بالای تبادلات، کارایی پایین انرژی و مواردی از این قبیل را تجربه نماییم. از این رو داشتن پروتکل مختص این شبکه‌ها که طراحان آن ویژگی‌های محیطی را در طراحی آن مدنظر قرار داده باشند بشدت محسوس است. در این پژوهش، نمونه‌های مختلفی از پروتکل‌های مختص این محیط بررسی شده است. پروتکل DBR یک نمونه از این پروتکل‌هاست که علاوه بر آن‌که برخلاف اکثر پروتکل‌های مطرح در این نوع شبکه‌ها فرضِ محال یا گران قیمتِ داشتن موقعیت مکانی گره در هر سه بعد را ندارد، در معیارهایی همچون تاخیر انتها به انتها، نرخ تحویل بسته و انرژی مصرفی کل دارای کارایی مناسبی است. یک پارامتر مهم در این پروتکل زمان انتظار برای ارسال بسته می‌باشد. آزمایش‌ها حاکی از حساسیت بالای سیستم به مقدار این زمان انتظار می‌باشد. لذا این ایده در این پروژه مطرح شد که زمان انتظار بصورت پویا با توجه به ویژگی‌های فعلی شبکه تعیین گردد. بدین منظور یک سیستم فازی سوجنو مرتبه صفر برای تعیین زمان ارائه می‌گردد. عمق و انرژی باقیمانده گره ورودی‌های این سیستم می‌باشند. مقدار زمان انتظار با توجه به خروجی سیستم فازی بدست می‌آید. جهت ارزیابی ایده ارائه شده، شش سناریو با حداکثر سرعت گره‌های مختلف با شبیه ساز Aqua-Sim تحت محیط NS2 پیاده سازی شد و عملکرد پروتکل

ارائه شده با پروتکل DBR مقایسه گردید. نتیجه‌های شبیه‌سازی حاکی از بهبود در معیارهایی همچون انرژی مصرفی کل شبکه، متوسط تاخیر انتها به انتها و نرخ تحویل بسته می‌باشد.

کلمات کلیدی: حسگر بی‌سیم، شبکه‌های زیرآب، DBR، سیستم فازی، انرژی، عمر شبکه.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۱ مقدمه ۷

۱-۱ شبکه‌ی حسگر بی‌سیم ۸

۱-۲ ساختار شبکه‌ی حسگر بی‌سیم ۸

۱-۳ شبکه‌های حسگر بی‌سیم و شبکه‌های پیشآ ۹

۱-۴ شبکه‌های حسگر بی‌سیم در زیر آب ۹

۱-۴-۱ علت بهره‌گیری از UWSNها در زیرآب ۱۰

۱-۴-۲ رسانه‌ی انتشار در UWSNها ۱۰

۱-۵ تفاوت گره‌های حسگر زمینی با گره‌های حسگر آبی ۱۱

۱-۶ انواع گره‌های حسگر در UWSNها ۱۲

۱-۷ انواع گره‌های چاهک در UWSNها ۱۲

۱-۸ مشخصات UWSN در قیاس با WSN ۱۳

۱-۹ توپولوژی در UWSNها ۱۳

۱-۹-۱ توپولوژی در UWSNهای ایستا ۱۳

۱-۹-۲ توپولوژی در UWSNهای سیار ۱۶

۱-۱۰ محیط‌های آبی ۱۷

۱-۱۱ ساختار پایان‌نامه ۱۸

۲ پروتکل‌های مسیریابی در UWSN ۱۹

۲-۱ علت‌های عدم استفاده از پروتکل‌های مسیریابی شبکه‌های مشابه UWSNها ۲۰

۲-۲ نیازمندی‌های پروتکل‌های مسیریابی مختص UWSNها ۲۲

۲-۳ پروتکل‌های مسیریابی مختص UWSNها ۲۳

۲-۳-۱ نمونه‌ی اول از پروتکل‌های مسیریابی مختص UWSNها ۲۳

۲-۳-۲ نمونه‌ی دوم از پروتکل‌های مسیریابی مختص UWSNها ۲۴
۲-۳-۳ نمونه‌ی سوم از پروتکل‌های مسیریابی مختص UWSNها ۲۶
۲-۳-۴ نمونه‌ی چهارم از پروتکل‌های مسیریابی مختص UWSNها ۲۸
۲-۳-۷ نمونه‌ی پنجم از پروتکل‌های مسیریابی مختص UWSNها ۳۱
۲-۳-۸ نمونه‌ی ششم از پروتکل‌های مسیریابی مختص UWSNها ۳۵
۲-۳-۹ نمونه‌ی هفتم از پروتکل‌های مسیریابی مختص UWSNها ۳۵
۲-۳-۱۰ نمونه‌ی هشتم از پروتکل‌های مسیریابی مختص UWSNها ۳۷
۲-۳-۱۱ نمونه‌ی نهم از پروتکل‌های مسیریابی مختص UWSNها ۳۹
۲-۳-۱۲ نمونه‌ی دهم از پروتکل‌های مسیریابی مختص UWSNها ۳۹
۲-۳-۱۳ نمونه‌ی یازدهم از پروتکل‌های مسیریابی مختص UWSNها ۴۰
۲-۳-۱۴ نمونه‌ی دوازدهم از پروتکل‌های مسیریابی مختص UWSNها ۴۱
۲-۳-۱۵ نمونه‌ی سیزدهم از پروتکل‌های مسیریابی مختص UWSNها ۴۲
۲-۳-۱۶ نمونه‌ی چهاردهم از پروتکل‌های مسیریابی مختص UWSNها ۴۴
۲-۴ بررسی ومقایسه ۴۶
۳ پروتکل DBR ۴۹
۳-۱ مقدمه ۵۰
۳-۲ اجزا UWSN در DBR ۵۰
۳-۳ فرمت بسته در پروتکل DBR ۵۱
۳-۴ جزئیات دقیق زمانی که بسته به دست یک گره حسگر می رسد ۵۱
۳-۵ جزئیات پروتکل DBR ۵۳
۳-۶ محاسبه مدت زمان انتظار ۵۵
۳-۷ حد آستانه عمق ۵۸
۳-۸ خلاصه‌ای از مراحل الگوریتم DBR و ارائه شبه‌کد آن ۵۹
۳-۹ جمع بندی: ۶۰

۴ بهبود DBR با استفاده از سیستم فازی ۶۲

۴-۱ استفاده از سیستم فازی و ارائه پروتکل FDBR ۶۳

۴-۱-۱ مفهوم سیستم فازی ۶۳

۴-۱-۲ انتخاب ورودی‌ها ۶۶

۴-۱-۳ طراحی سیستم فازی برای انتخاب مسیر ۶۷

۴-۱-۴ پیاده‌سازی سیستم فازی پیشنهادی در DBR ۷۰

۵ شبیه‌سازی و ارزیابی ۷۱

۵-۱ شبیه‌ساز شبکه ۷۲

۵-۲ شبیه‌سازی ۷۶

۵-۲-۱ معیار انرژی مصرفی در کل شبکه ۷۶

۵-۲-۲ معیار متوسط تاخیر انتها به انتهای بسته ۷۷

۵-۲-۳ معیار نرخ تحویل بسته ۷۸

۵-۳ متوسط گیری از نتایج بدست آمده و محاسبه مقدار بهبود FDBR ۷۹

۶ نتیجه‌گیری و کارهای آینده ۸۱

۶-۱ جمع بندی و نتیجه‌گیری ۸۲

۶-۲ کارهای آینده ۸۳

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱: مثالی از توپولوژی دو لایه[۵] ۱۴

شکل ۱-۲: نمونه‌ای از توپولوژی ایستای سه بعدی [۶] ۱۶

شکل ۱-۳: نمونه‌های از توپولوژی سیار. [۳] ۱۷

شکل ۲-۱: ایجاد لوله به محوریت بردار مسیریابی از مبداء A، B وC به مقصد[۱۳] ۲۶

شکل ۲-۲: نمایی از لوله‌های مجازی که به ازاء هر ارسال‌کننده تا مقصد در نظر گرفته می-شود.[۱۳] ۲۸

شکل ۲-۳: نمایی از شبکه‌ی ایجاد شده از چاهک‌های مجازی و نقاط تجمع محلی در خوشه‌ها[۵] ۳۲

شکل ۲-۴: ارسال همزمان بسته از گره مبداء به سه چاهک متصل[۵] ۳۴

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱: مقایسه بین پروتکل‌های مختص زیرآب که از نوع جغرافیایی هستند.[۲۱]..... ۴۷

جدول ۴-۱: پایگاه قواعد سیستم فازی. ۷۰

جدول ۵-۱: میانگین نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی..... ۸۰

فهرست علائم اختصاری

Ad hoc On-Demand Distance Vector	AODV
Autonomous Underwater vehicles	AUV
Depth_Based Routing	DBR
Destination-Sequenced Distance-Vector	DSDV
Distributed Underwater Clustering Scheme	DUCS
Distributed Underwater Clustering Scheme	DUCS
Focused Beam Routing	FBR
Greedy-Face-Greedy	GFG
Hop-by-Hop Vector-Based Forwarding	HH-VBF
information-carrying based routing protocol	ICRP
Least Recently Access	LRA
Power-Efficient Routing	PER
Sector Based Routing with Destination Location Prediction	SBR-DPL
Time-of-Arrival	TOA
Underwater Wireless Sensor Network	UWSN
Vector-based forwarding	VBF
Wireless Sensor Network	WSN

فصل اول

مقدمه

در این فصل ابتدا به معرفی شبکه‌های حسگر بی‌سیم در زیر آب می‌پردازیم و ویژگی‌های خاص آن را بررسی خواهیم نمود.

۱-۱ شبکه‌ی حسگر بی‌سیم

پیشرفت‌های اخیر در زمینه‌ی الکترونیک و مخابرات بی‌سیم توانایی طراحی و ساخت حسگرهایی را با توان مصرفی پایین، اندازه‌ی کوچک، قیمت مناسب و کاربری‌های گوناگون داده است. این حسگرهای کوچک که توانایی انجام اعمالی چون دریافت اطلاعات مختلف محیطی بر اساس نوع حسگر، پردازش و ارسال آن اطلاعات را دارند، موجب پیدایش ایده‌ای برای ایجاد و گسترش شبکه‌های موسوم به شبکه‌های حسگر بی‌سیم (WSN)[1] شده‌اند.

۱-۲ ساختار شبکه‌ی حسگر بی‌سیم

شبکه‌های حسگر از تعدادی گره‌های حسگر کوچک در اندازه‌های یک تا دو میلیمتر ساخته شده است که به همراه یک دستگاه فرستنده و گیرنده‌ی بی‌سیم، به ارسال اطلاعات به دستگاه مرکزی به عنوان کاربر نهایی می‌پردازد. لزوماً مکان قرار گرفتن گره‌های حسگر، از قبل تعیین شده و مشخص نیست. چنین خصوصیتی این امکان را فراهم می‌آورد که بتوانیم آن‌ها را در مکان‌های خطرناک و یا غیرقابل دسترس مستقر کنیم[۱].

امکان تعامل با محیط در شبکه‌های حسگر بسیار بالاست. ارتباط بین گره‌ها بصورت بی‌سیم است. هرگره بطور مستقل و بدون دخالت انسان کار می‌کند و از لحاظ فیزیکی بسیار کوچک است و دارای محدودیت‌هایی در قدرت پردازش، ظرفیت حافظه، منبع تغذیه و غیره می‌باشد. این محدودیت‌ها مشکلاتی را بوجود می‌آورد که منشأ بسیاری از مباحث پژوهشی مطرح در این زمینه است[۱].

[1] Wireless Sensor Network

۱-۳ شبکه‌های حسگر بی‌سیم و شبکه‌های پیشآ

شبکه‌های حسگر بی‌سیم از جهات بسیاری شبیه به شبکه‌های پیشآ است، اما پروتکل‌هایی که برای شبکه‌های پیشآ مورد استفاده قرار می‌گیرند برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم مناسب نمی-باشند. در شبکه‌های پیشآ مسأله اصلی برای طراحی پروتکل‌ها، کیفیت سرویس‌دهی می‌باشد، در صورتی که در شبکه‌های حسگر بی‌سیم محدودیت اصلی برای طراحی پروتکل‌ها، انرژی محدود حسگرها می‌باشد. در واقع پروتکل‌هایی که مصرف توان در حسگرها را به حداقل برسانند، برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم بیشتر موردتوجه هستند[۱].

به طور کلی تفاوت‌های اصلی شبکه‌های حسگر بی‌سیم با شبکه‌های پیشآ به قرار زیراست [۱]:

- تعداد گره‌های شبکه در شبکه‌های حسگر بی‌سیم بسیار بیشتر از شبکه‌های پیشآ است.
- حسگرها در شبکه‌های حسگر بی‌سیم به صورت فشرده مستقر شده‌اند.
- حسگرها در شبکه‌های حسگر بی‌سیم بیشتر در معرض خرابی هستند.
- توپولوژی شبکه‌های حسگر بی‌سیم دائما در حال تغییر است.
- در اکثر شبکه‌های حسگر بی‌سیم برقراری ارتباط به صورت پخشی است در صورتی که در شبکه‌های پیشآ ارتباط به صورت نقطه به نقطه است.
- حسگرها در اندازه، توان، قدرت پردازش و حافظه دارای محدودیت هستند.

۱-۴ شبکه‌های حسگر بی‌سیم در زیر آب

در شبکه‌های حسگر بی‌سیم در زیر آب (UWSN)[1] گره‌های حسگر بی‌سیم در درون محیط زیر آب مستقر می‌شوند. برخی از این گره‌ها که می‌بایست در زیر آب بصورت ایستا مستقر شوند

[1] Underwater Wireless Sensor Network

بوسیله‌ی یک لنگر[1] که در کف دریا قرار دارد محکم می‌شود و یا با استفاده از یک شناور[2] که روی سطح آب قرار دارد آویزان می‌گردد [۲].

۱-۴-۱ علت بهره‌گیری از UWSNها در زیرآب

دسترسی به برخی از محیط‌ها برای آدمی براحتی امکان‌پذیر نیست. از این رو همواره نیاز به سیستم ناظری که پایش چنین محیطی را ممکن سازد احساس می‌شود. یکی از انواع این محیط-ها، محدوده‌های زیر آب می‌باشد. موارد زیر از جمله علت‌هایی که آدمی را به سمت پایش محیط زیر آب سوق می‌دهد [۲]:

۱. اکتشاف منابع طبیعی در زیر آب
۲. جمع‌آوری داده‌های موجود در زیر آب
۳. تشخیص رخدادهایی چون نشت نفت و یا آلودگی شیمیایی

همانطور که پیشتر اشاره شد شبکه‌های حسگر بی‌سیم تعامل بسیار بالایی با محیط دارد از این رو ما جهت پایش محیط زیر آب از UWSNها استفاده می‌نماییم[۲].

۱-۴-۲ رسانه‌ی انتشار در UWSNها

در این نوع شبکه‌ها معمولاً از کانال‌های آکوستیک بهره می‌برند. زیرا امواج رادیویی در زیر آب به سرعت تضعیف می‌شوند که در صورت بهره‌گیری از آن‌ها نیاز به آنتن‌های بزرگ و توان انتقالی[3] بالا می‌باشد. امواج نوری[4] در این نوع محیط از تضعیف به صورت امواج رادیویی رنج نمی-برند اما پراکندگی[5] برویشان اثرگذار است. علاوه بر این انتقال سیگنال‌های نوری نیاز به دقت بالا در هنگام ارسال پرتوهای نازک لیزر دارد. از این رو معمولاً از کانال‌های آکوستیک در این نوع شبکه‌ها استفاده می‌شود. اگرچه خود این نوع کانال‌ها محدودیت‌هایی همچون تاخیر انتشار بالا و

[1] Anchor
[2] Buoy
[3] Transmission power
[4] Optical waves
[5] Scattering

پهنای باند پائین را برای شبکه‌ای که از آن جهت انجام انتقالات خود استفاده می‌نماید بهمراه دارد[۲].

۱-۵ تفاوت گره‌های حسگر زمینی با گره‌های حسگر آبی

حسگر زمینی با حسگر آبی در مولفه‌های هزینه، چیدمان و گسترش[1]، انرژی، حافظه، تاخیر و همبستگی فضایی[2] با هم متفاوت می‌باشند[۲]:

- **هزینه:** همانطور که ما انتظار داریم که هزینه‌ی گره‌های حسگرهای زمینی به شدت ارزان باشد، در مورد نوع آبی آن نظرمان متفاوت می‌باشد یعنی به دلیل نیاز به گیرنده و فرستنده پیچیده‌تر در محیط آبی و محافظت سخت افزاری خاص محیط موردنظر، انتظار می‌رود که هزینه‌ی آن نیز بیشتر باشد[۲].
- **چیدمان و گسترش:** چیدمان شبکه‌های حسگر زمینی به صورت متراکم می‌باشد اما طراحان شبکه‌های حسگر آبی تمایل به چیدمان بسیار خلوت در زیر آب دارند. در حقیقت دلیل این تمایل اینست که چیدمان در زیر آب به تنهایی در برگیرنده‌ی هزینه و چالش‌هایی است که این عمل را دشوار نموده است[۲].
- **انرژی:** انرژی مورد نیاز ارتباطات زیرآب از ارتباطات رادیویی زمینی بالاتر است. دلیل آن فاصله‌ی بیشتر بین گره‌ها و پردازش پیچیده‌تر سیگنال در گیرنده می‌باشد[۲].
- **حافظه:** گره‌های حسگر زیر آب ممکن است نیاز به انجام مقداری ذخیره‌سازی داشته باشند پس می‌بایست قادر به انجام آن باشند چون ممکن است کانال‌های زیر آب به صورت نوبتی باشند[۲].

[1] Deployment
[2] Spatial Correlation

- **تاخیر:** به دلیل استفاده از کانال‌های آکوستیک تاخیر انتشار نسبتاً بالایی را انتظار داریم. جالب است بدانید که سرعت انتشار سیگنال‌های آکوستیک در آب در حدود پنج برابر کم‌تر از سرعت انتشار رادیو در هوا می‌باشد[۲].
- **همبستگی فضایی:** اگرچه خواندن در حسگرهای زمینی اغلب به هم مرتبط می-باشد اما در مورد شبکه‌های زیرآب به دلیل فاصله بیشتر مابین گره‌ها خیلی کم پیش می‌آید[۲].

۱-۶ انواع گره‌های حسگر در UWSNها

دو نوع گره در این نوع شبکه‌ها بکار می‌روند: ایستا و سیار[1]. گره‌های ایستا یا روی سطح آب به کمک شناورها توزیع شده‌اند و یا در کف اقیانوس بواسطه لنگرها محکم شده‌اند. اگرچه آن‌ها را با ابزاری به عنوان افسار[2] محکم کرده‌اند اما به دلیل‌هایی همچون نقص در لنگر یا اشکالاتی که از طرف منبع خارجی ایجاد می‌شود، ممکن است در آن‌ها تحرک ایجاد شود. گره‌های حسگر سیار بسیار منعطف هستند و قادر به پیکربندی خودکار و مستقل در این شبکه‌ها در موقعیت مکانی دلخواه می‌باشند[۳].

۱-۷ انواع گره‌های چاهک در UWSNها

چاهک‌ها نیز در این شبکه‌ها دارای دو نوع می‌باشند یا از نوع گره‌هایی هستند که روی سطح آب قرار می‌گیرند و یا از نوع گره‌های زیرآب هستند. گره‌های روی سطح آب می توانند داده‌ها را به مرکز فرماندهی در ساحل از طریق کانال‌های رادیویی و یا ماهواره ارسال نمایند، اما گره‌های زیر آب می توانند داده را از طریق مسیرهای آکوستیک چند گامی به مرکز کنترل روی سطح آب دریا ارسال نمایند و یا آن را به سمت ایستگاه روی سطح آب انتقال دهند، سپس اطلاعات از آن جا به سمت یک مرکز کنترل در ساحل ارسال شود. مرکز کنترل می بایست داده را

[1] Mobile
[2] Tether

جمع آوری و سپس پردازش نماید تا در نهایت نتیجه را استخراج کند. همچنین ممکن است نیاز به حضور تعداد کمی وسیله‌ی نقلیه‌ی زیر آب خودکار (AUV)[1] بر حسب نوع توپولوژی بکار گرفته در شبکه باشد که در اینصورت گره چاهک زیر آب می‌بایست قادر به برقراری ارتباط با آن‌ها باشد[۳].

۱-۸ مشخصات UWSN در قیاس با WSN

همانند گره‌های حسگر زمینی، گره‌های حسگر زیرآب معمولاً با باتری کار می‌کنند. اما ویژگی‌هایی که در ادامه به آن‌ها می‌پردازیم برخلاف WSNها می‌باشد. در حقیقت به علت خواص ذاتی محیط زیر آب، UWSNها بسیار متفاوت از شبکه‌های زمینی موجود هستند[۴].

در UWSNها از کانال‌های آکوستیک به جای کانال‌های رادیویی استفاده می‌شود که همین موضوع منجر به مستعد شدن این نوع شبکه‌ها در برابر انواع خطا و تحمیل تاخیر انتشار بالا در هنگام ارسال می‌شود، همچنین این شبکه‌ها دارای توپولوژی پویا به دلیل حرکت گره‌ها با تلاطم آب هستند و از طرفی به دلیل محیط آبی بسیار مستعد در برابر نقص‌هایی‌اند که بر اساس خوردگی یا رسوب در آن‌ها ایجاد می‌شوند[۴].

۱-۹ توپولوژی در UWSNها

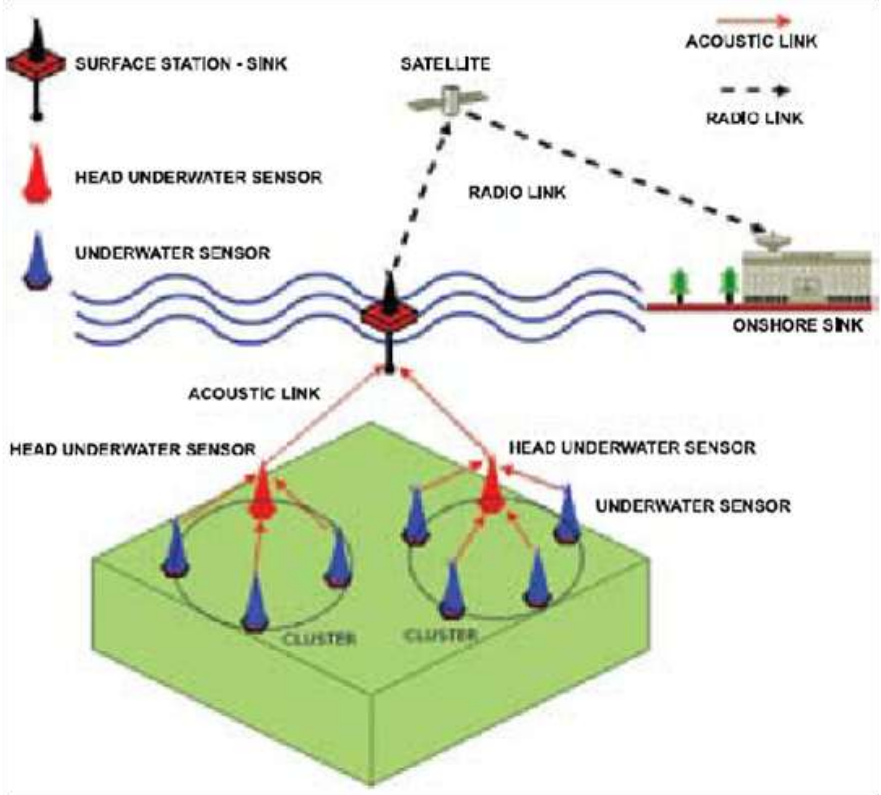
توپولوژی شبکه را با توجه به تحرک حسگرها به دو گروه تقسیم‌بندی می‌نماییم. گروه اول UWSNهای ایستا هستند که در آن حسگرها پس از آن که مستقر شدند با استفاده از لنگر محکم می‌شوند و گروه دوم در حقیقت UWSNهای سیار هستند که آزادانه در آب شناورند[۵].

۱-۹-۱ توپولوژی در UWSNهای ایستا

در این توپولوژی شبکه می‌بایست درفضای دو بعدی یا سه بعدی مستقر شود[۵].

[1] Autonomous underwater vehicles

۱. **توپولوژی در UWSNهای ایستا در فضای دو بعدی**: در حالت دوبعدی، توپولوژی ما می‌تواند استقرار به صورت توری[1]، خوشه، درخت و یا line Relay باشد. در شکل ۱-۱ نمونه‌ای از این توپولوژی را در فضای دوبعدی مشاهده می‌نمایید که از خوشه-بندی جهت استقرار گره‌ها بهره برده است[۵].



شکل ۱-۱: مثالی از توپولوژی دو لایه[۵].

جهت افزایش تحمل‌پذیری[2] و کارایی انرژی، یک توپولوژی چندلایه دو بعدی بوسیله مرجع [۵] پیشنهاد شده است. این توپولوژی شامل خوشه‌هایی از حسگرهاست که هر خوشه یک یا بیش از یک نقطه‌ی محلی تجمع[3] دارد. این نقطه‌ها، که چاهک‌های مجازی[4] نامیده می‌شوند، یک شبکه‌ی توری[5] را تشکیل می‌دهند. حسگرها داده خود را از میان چند گام به سمت چاهک محلی خود انتقال می‌دهند. برای یک توپولوژی چندلایه داده شده قابل نشان داده شده است که دیدگاه

[1] Grid
[2] Robustness
[3] Local aggregation points
[4] Virtual sink
[5] Mesh Network